

2. Китаев, Б. И. Теплообмен в шахтных печах / Б. И. Китаев, Ю. Г. Ярошенко, В. Д. Сучков. – Свердловск : Metallurgizdat, 1957. – 279 с.
3. Китаев, Б. И. Тепло- и массообмен в плотном слое / Б. И. Китаев, В. Н. Тимофеев, Б. А. Боковиков [и др.]. – М. : Metallurgiya, 1972. – 432 с.
4. Маерчак, Ш. Производство окатышей / Ш. Маерчак. – М.: Metallurgiya, 1982. – 232 с.
5. Кноп, А. Фенольные смолы и материалы на их основе / А. Кноп, В. Шейб.; пер. с англ. А. М. Василько, Г. М. Восканяница; под ред. Ф. А. Шутова. – М.: «Химия», 1983. – 280 с.
6. Телегин, А. С. Тепломассоперенос / А. С. Телегин, В. С. Швыдкий, Ю. Г. Ярошенко – М.: Академкнига, 2002. – 455 с.
7. Коротич, В. И. Теоретические основы окускования металлургического сырья / В. И. Коротич. – М.: Metallurgiya, 1966. – 151 с.
8. Кашеев, И. Д., Стрелов К. К., Мамыкин П. С. Химическая технология огнеупоров / И. Д. Кашеев, К. К. Стрелов, П. С. Мамыкин. – М. : Интернет Инжиниринг, 2007. – 752 с.

М. Э. Калугин, В. И. Матюхин, А. В. Матюхина,  
*Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДОГРЕТОГО ДУТЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ МИНЕРАЛОВАТНОЙ ВАГРАНКИ**

The use of preheated blast results in a heat balance of cupola furnace for additional heat source, which is able to provide a significant reduction in consumption of coke burning on the tuyeres, improving the performance of the unit and increase the temperature of the melt. Thus a transition of the nature of the motion of gases in the layer with a predominantly peripheral to Central with the deterioration of the performance of the furnace.

Одним из эффективных способов интенсификации ваграночной плавки является использование подогретого дутья, преимущества которого в наибольшей степени проявляется при использовании отдельно стоящего воздухоподогревателя с дожиганием горючих компонентов колошниковых газов [1]. Замена холодного дутья нагретым приводит к появлению в тепловом

балансе вагранки дополнительного источника теплоты, который способен обеспечить существенное снижение расхода кокса, сгораемого на фурмах. Благодаря появлению этого источника тепла в нижней части печи и завершенности теплообмена в ней, а также отсутствию значительных источников массы газов, дополнительная теплота усваивается слоем полностью. Снижение расхода кокса при увеличении уровня подогрева дутья приводит к уменьшению массы отходящих газов, снижению их температуры на выходе из слоя и открывает возможности обеспечить дополнительную экономию основного вида топлива. Кроме того, повышение теплового состояния нижней высокотемпературной части вагранки способствует улучшению процессов нагрева и расплавления исходных шихтовых компонентов с возможностью повышения температуры их перегрева.

Однако повышенные температуры дутья и температуры в горновой части печи увеличивают объем, давление и скорости движения газов на выходе из фурм. Как показали результаты промышленных испытаний минераловатной вагранки с диаметром поперечного сечения 1,25 м, высотой слоя 5,4 м при переплаве доменного шлака в смеси с порфиритом при общем модуле кислотности шихты 1,2 на Губахинском коксе, увеличение температуры подогрева воздушного дутья способствует более раннему переходу характера их движения в слое с преимущественно периферийного на центральный. Это приводит к понижению производительности агрегата по расплаву (рис. 1) вследствие ограниченности площади поперечного сечения вагранки с интенсивным горением кокса преимущественно вдоль отдельных воздушных фурм и в центральной части агрегата. Изменение же температуры перегрева расплава при этом будет зависеть от уровня подогрева воздушного дутья и его удельного расхода (рис. 2). Экспериментально было установлено, что увеличение удельного расхода воздуха до 19–20 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>мин) при любой температуре подогрева слабо влияет на изменение температуры перегрева расплава. При более же значительном уровне подогрева воздуха температура перегрева расплава на выпускном желобе вагранки возрастает.

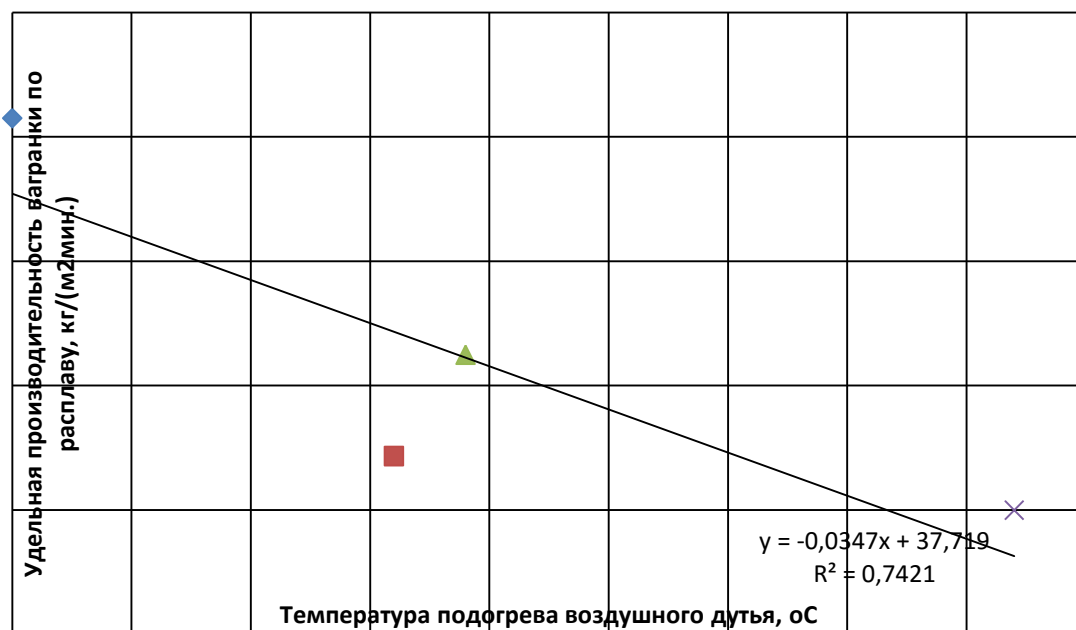


Рис. 1. Изменение производительности минераловатной вагранки от температуры подогрева воздушного дутья

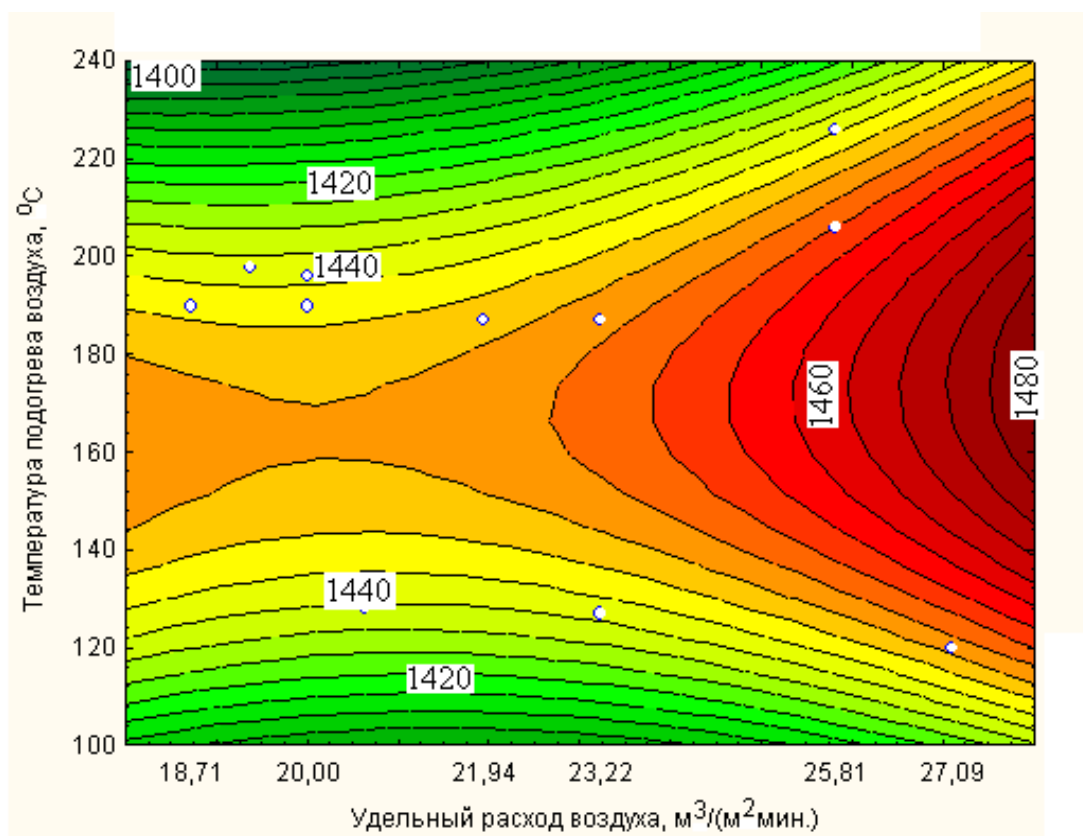


Рис. 2. Изменение температуры перегрева минерального расплава (цифры у кривых, °C) от температуры подогрева воздушного дутья и удельного расхода воздуха

Увеличение же температуры подогрева воздушного дутья до 160–170 °С обеспечивает последовательное повышение температуры перегрева расплава при преимущественно периферийном характере движения газов по слою с увеличением температуры перегрева расплава. При более значительных температурах подогрева воздушного дутья в тех же условиях переплава минерального сырья температура перегрева расплава снижается, а движение газов в слое постепенно переходит на преимущественно по центральной части горизонтального сечения агрегата.

Поэтому для получения повышенных технико-экономических показателей ваграночной плавки необходимо обеспечить условия для преимущественно периферийного характера движения газов в шахте. Для этого можно воспользоваться следующими приемами.

1. Снижение скорости выхода газов из фурм при сохранении заданного удельного расхода воздушного дутья за счет увеличения их поперечного сечения. Однако при этом конструкция воздухоподающего оборудования должна обеспечить наиболее рациональные параметры образующихся у фурм воздушных струй в соответствии с [2] (количество фурм, их диаметр, угол наклона к горизонту и др.). В противном случае эффект от использования этого мероприятия может быть существенно снижен.

2. Изменение газодинамического сопротивления обрабатываемого слоя путем оптимизации гранулометрического состава исходной шихты. В этом случае целесообразно оптимизировать параметры самых затратных компонентов ваграночной плавки, в первую очередь, твердого топлива.

3. Уменьшение удельного расхода воздушного дутья, что будет сопровождаться снижением производительности вагранки.

Как показывает практика металлургического производства [3] при получении чугуна в доменных печах на каждые 100 градусов в интервале до 1000–1200 °С возможно достижение прироста производительности на 1,5–2,0 % и снижение расхода кокса на 2,0–2,5 %.

В настоящее время на предприятиях России находятся в эксплуатации более 200 минераловатных вагранок, из которых около 20 % представлены агрегатами импортного производства, работающими в режиме с закрытым колошником в комплекте с дожигом горючих компонентов колошникового газа и подогревом воздушного дутья до 600–630 °С. Вагранки отечественного изготовления, как правило, работают на холодном дутье с устройствами очистки газов инерционного типа. В большинстве случаев конструкции вагранок импортного производства в стационарном режиме характеризуются соизмеримыми показателями работы на вагранках с открытым колошником и холодным дутьем (табл.) несмотря на наличие более сложного технологического оборудования. Поэтому использование подогретого дутья на отечественных вагранках позволит существенно улучшить их технико-экономические показатели.

Таблица

Усредненные показатели работы минераловатных вагранок

Вид минерального сырья	Тепловой КПД, %	Удельный расход воздуха, м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> мин.)	Удельная производительность, т/(м <sup>2</sup> ч)	Удельный расход кокса, кг/т расплава
Вагранки с закрытым колошником импортного производства	18–58	50–60	70–85	140–320
Вагранки с открытым колошником	52–68	25–40	40–80	120–160

При использовании подогретого дутья для получения минерального расплава требуемого химического состава при заданных количествах с обеспечением высокого уровня перегрева целесообразно использовать отечественные разработки воздухоподогревателей как рекуператорного, так и регенераторного типов с учетом конструктивных особенностей всего ваграночного комплекса. При разработке конструкции воздухоподогревателей

следует также учитывать замечания академика Павлова М. А. для шахтных печей [4], что чем ниже их тепловая эффективность, тем выше эффект от использования горячего дутья.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Матюхин, В. И. Расчет и проектирование ваграночного комплекса плавки чугуна / В. М. Матюхин, А. В. Матюхина. – Екатеринбург: ООО АМК «День РА», 2015. – 364 с.
2. Гордон, Я. М. Тепловая работа шахтных печей и агрегатов с плотным слоем / Я. М. Гордон, Б. А. Боковиков, В. С. Швыдкий [и др.]. – М.: Metallurgy, 1989. – 120 с.
3. Доменное производство. Справочник, Т. II, М.: – Metallurgizdat, 1963. – 643 с.
4. Ефименко, Г. Г. Metallurgy чугуна / Г. Г. Ефименко, А. А. Гиммельфарб, В. Е. Левченко. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1981. – 496 с.

А. П. Караева,

*Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия*

## **ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА КАК ИСТОЧНИК АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Geothermal energy is the one of the most promises type of energy in the world: its impact on the environment is minimal and its supply is much bigger than, for instance, the oil and gas supply on Earth. That the main reason why Russian Federation should pay attention to expand of geothermal energy in order to save the environment and Russian economy in general.

Использование геотермальной энергии – это один из способов производить необходимую человечеству энергию без вреда для окружающей среды. Принцип геотермальной энергетики заключается в использовании энергии, вырабатываемой в недрах Земли.

При постройке специализированных геотермальных энергетических станций (ГеоТЭС) используют технологии бурения и использования нефтяных